

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 25/08/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**INFLUÊNCIA DA FARINHA DE MICROALGA
(*Schizochytrium sp.*) NO PERFIL METABÓLICO,
IMUNOLÓGICO E DO SISTEMA ANTIOXIDANTE DE
TAMBAQUIS EM DIFERENTES TEMPERATURAS**

Allana Feitoza da Silva
Eng. de Pesca

Jaboticabal - São Paulo
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**INFLUÊNCIA DA FARINHA DE MICROALGA
(*Schizochytrium sp.*) NO PERFIL METABÓLICO,
IMUNOLÓGICO E DO SISTEMA ANTIOXIDANTE DE
TAMBAQUIS EM DIFERENTES TEMPERATURAS**

Allana Feitoza da Silva

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elisabeth Criscuolo Urbinati

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Yukihiro Gimbo

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP – CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor

Jaboticabal - São Paulo

2023

S586i

Silva, Allana Feitoza da

Influência da farinha de microalga (*Schizochytrium* sp.) no perfil metabólico, imunológico e do sistema antioxidante de tabaquis em diferentes temperaturas. / Allana Feitoza da Silva. -- Jaboticabal, 2023
59 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Elisabeth Criscuolo Urbinati

Coorientadora: Rodrigo Yukihiro Gimbo

1. Resposta ao choque térmico. 2. Ácidos graxos. 3. Imunidade. 4. Estresse oxidativo. 5. Metabolismo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INFLUÊNCIA DA FARINHA DE MICROALGA (*Schizochytrium sp.*) NO PERFIL METABÓLICO, IMUNOLÓGICO E DO SISTEMA ANTIOXIDANTE DE TAMBAQUIS EM DIFERENTES TEMPERATURAS.

AUTORA: ALLANA FEITOZA DA SILVA

ORIENTADORA: ELISABETH CRISCUOLO URBINATI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ELISABETH CRISCUOLO URBINATI (Participação Virtual)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV/Unesp, Jaboticabal/SP

Prof. Dr. EDUARDO PAHOR FILHO (Participação Virtual)
. / Universidade Federal de São João del Rei-MG (UFSJ), São João del Rei-MG



Documento assinado digitalmente
EDUARDO PAHOR FILHO
Data: 27/08/2023 16:41:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. THIAGO FERNANDES ALVES SILVA (Participação Virtual)
. / Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Reis Velloso, Parnaíba-PI



Documento assinado digitalmente
THIAGO FERNANDES ALVES SILVA
Data: 01/09/2023 11:56:49-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. INÁCIO MATEUS ASSANE (Participação Virtual)
. / Centro de Aquicultura da Unesp, Caunesp, Jaboticabal-SP

Prof. Dr. MARCIO AQUIO HOSHIBA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia e Extensão / Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá-MT



Documento assinado digitalmente
MARCIO AQUIO HOSHIBA
Data: 01/09/2023 18:27:04-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jaboticabal, 25 de agosto de 2023

À minha mãe, professora de matemática e a todos os
professores que por meio da educação e do conhecimento
transformam vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, por ter permitido chegar a essa etapa em minha vida, sem sua presença nada seria possível.

Agradeço a minha querida mãe, Maria Olinda, por ser minha referência como pessoa e ter proporcionado caminhos ao aprendizado, a educação, eu não seria a mesma sem sua presença, quanta saudade!

À minha orientadora, Dra. Elisabeth Criscuolo Urbinati, por toda orientação, aprendizado, compreensão, confiança, carinho e amparo nestes últimos anos, além de toda calma transmitida sempre, obrigada, me sinto honrada e imensamente grata ao ter trabalhado com a senhora!

À Dra. Ligia Uribe Gonçalves, obrigada pela parceria em nosso experimento, pelos tambaquis, elaboração das dietas e amizade, és uma profissional, amiga e pessoa que tenho total admiração sempre!

À toda equipe de alunos do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), em especial ao Francisco Dantas, Driely Monteiro, Thiago Macedo, Ana Beatriz e Claudia Epifânio, por toda disposição e amparo sempre, amo vocês!

À toda equipe do Laboratório de Fisiologia e Metabolismo de Peixes (Lab. 158) da Universidade Nilton Lins, Angelo Carlo, Adria Gomes, Mavi Lobo, Shamila Magalhães, Larissa Salgado, Larissa Fonseca, Walleska Freitas, Priscila Miller e Deborah Jacob, e aos demais alunos que passaram pelo laboratório, ou ajudaram na coleta e me fizeram aprender um pouco mais. Agradeço pela amizade, momentos de descontração e de muito trabalho, com vocês tudo foi possível!

Ao meu coorientador por ter aceitado, apoiado essa parceria Dr. Rodrigo Gimbo.

A técnica, Damares Perecim e aos amigos do Laboratório de Fisiologia de Peixes (LAFIP) – UNESP, Aurea Veras, Raissa Ribeiro, Adriane Bido, Thaís Lucato, Mariana Maluli, Camila Faria, Julyana Cristyna, Eduardo Pahor, Fábio Gonzalez e Weliton Vilhalba com toda certeza o convívio e aprendizado com vocês foi importante, mesmo que em menor tempo com alguns. Muito obrigada por todo amparo e auxílio, ajuda nas análises, tornaram esse momento possível!

Aos amigos Aline Brilhante, Ivan Tribuzy, Giulia Lopes, Aldessandro Amaral, Katrine Gomes, Yamilly Lopes, Fernanda Cunha, Larissa Lira, Karen Alves, Sunique Poá, Larissa França e Thyssia Bomfim são anos e muito carinho até aqui, vocês continuam me apoiando em momentos decisivos, obrigada pelo incentivo a realização de sonhos!

Aos amigos que fiz em Jaboticabal, Andressa Tellechea (Andressita), Thiago Fernandes (Thi), Marla Frasson (Vizinha), Laíza Silva, Mareliza Menezes e Mariana Roza, e as minhas manas (Thá, Dri, Rah e Aurita), vocês todos me fizeram sentir em casa morando em Jaboticabal e agora tenho amigos em todas as regiões desse Brasil!

Ao Hansley Melo, por seu amparo, carinho e amor. Com toda certeza nunca me senti tão incentivada, motivada, é fundamental.

Aos colegas de trabalho do Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas – IDAM, obrigada por todo incentivo mesmo diante de tantas atribuições a serem realizadas, foi desafiador.

A minha Madrinha Jucineide Feitoza, ao meu irmão Domingos Alves e familiares, incluindo os de coração, por todo incentivo! Aos meus irmãos paternos que apesar do pouco contato sei que torcem e me enviam as melhores energias.

Ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP), pela oportunidade. A todos os professores e

funcionários do CAUNESP. Ao David, Assistente Administrativo da pós-graduação – CAUNESP, por ser sempre tão solícito em seus atendimentos.

Aos Drs. Eduardo Pahor Filho, Thiago Fernandes Alves Silva, Marcio Aquio Hoshiba, Inácio Mateus Assane e a Dra. Silvia Umeda Gallani, pelas contribuições e questionamentos durante o exame geral de qualificação e defesa do doutorado. E a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Muito obrigada!

APOIO FINANCEIRO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, processo nº 88882.433866/2019-01.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	1
CAPÍTULO 1	3
1. Aquicultura.....	4
2. Tabaqui.....	5
3. Temperatura como agente estressor.....	6
4. Respostas ao estresse x Sistema Imune x Sistema Antioxidante	8
5. Farinha de microalga como fonte de ácidos graxos	12
6. Referências.....	14
CAPÍTULO 2	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT	24
1. Introdução.....	25
2. Material e Métodos	27
2.1. Animais e Local	27
2.2. Dietas Experimentais.....	27
2.3. Delineamento e condições experimentais	27
2.4. Análises laboratoriais	29
2.4.1. Indicadores metabólicos (Glicose no plasma, Proteína total no fígado, Glicogênio hepático e Número de eritrócitos).....	29
2.4.2. Indicadores imunológicos (Atividade respiratória de leucócitos, Atividade do sistema complemento – via alternativa e Concentração sérica de lisozima)	30
2.4.3. Indicadores do sistema antioxidante no fígado (SOD, CAT, GPx, GST, 'GSH, LPO)	31
2.4.4. Análise estatística	32
3. Resultados.....	33
3.1. Indicadores metabólicos.....	33
3.1.1. Concentração plasmática de glicose.....	33
3.1.2. Concentração de proteína total no fígado	34
3.1.3. Concentração de glicogênio hepático no fígado	35
3.1.4. Número de eritrócitos (RBC)	36
3.2. Indicadores de resposta inata.....	37
3.2.1. Atividade respiratória de leucócitos (ARL)	37
3.2.2. Atividade hemolítica do sistema complemento no soro (AHC ₅₀)	38

3.2.3. Concentração sérica de lisozima	39
3.3. Indicadores do sistema antioxidante no fígado	40
3.3.1. Atividade da superóxido dismutase (SOD).....	40
3.3.2. Atividade da catalase (CAT).....	41
3.3.3. Atividade da glutationala peroxidase (GPx)	42
3.3.4. Atividade da glutationala-S-transferase (GST).....	43
3.3.5. Concentração da glutationala reduzida (GSH).....	44
3.3.6. Peroxidação lipídica (LPO).....	45
4. Discussão	46
5. Conclusão.....	52
6. Referências.....	53

RESUMO

O tambaqui é a principal espécie nativa produzida na aquicultura Brasileira e da América Latina. Fato que fortalece a necessidade de estudá-lo em diferentes temperaturas, considerando à grande amplitude térmica das regiões de sua produção. Aditivos ricos em ácidos graxos insaturados provenientes da microalga (*Schizochytrium sp.*) para dietas de peixes, podem ser uma alternativa afim de melhorar a capacidade fisiológica desses organismos ao combate de danos durante a exposição de temperaturas mais baixas que as de seu conforto térmico. Neste contexto, esta tese está dividida em dois capítulos: 1- Introdução Geral, revisando os principais aspectos abordados no estudo e capítulo 2 – No qual foi realizado um experimento com objetivo de avaliar a influência dos ácidos graxos insaturados da farinha de microalga no perfil metabólico, imunológico e do sistema antioxidante de tambaquis em temperaturas de $19,91\pm 0,30$ a $23,74\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ e $29,65\pm 0,47^{\circ}\text{C}$. Foram testados dois grupos: controle - alimentados com dietas comerciais (6 caixas) (T1 e T2 - C) e o grupo alimentado com farinha de microalga (6 caixas) (T3 e T4 - FM). Após 15 dias de alimentação, 3 caixas de cada grupo foram expostas a temperatura ($19,91\pm 0,30$ a $23,74\pm 0,25^{\circ}\text{C}$) e outros 3 permaneceram em temperatura ambiente ($29,65\pm 0,47^{\circ}\text{C}$). Após 1, 3 e 6 horas expostos a temperatura reduzida ($19,91\pm 0,30$ a $23,74\pm 0,25^{\circ}\text{C}$) e ambiente $29,65\pm 0,47^{\circ}\text{C}$, os peixes foram amostrados para avaliação de indicadores fisiológicos: metabólicos (glicose, proteína e glicogênio hepáticos, eritrócitos), imunológicos (atividade respiratória de leucócitos/ARL, concentração sérica de lisozima e atividade sérica do sistema complemento/AHC₅₀) e do sistema antioxidante (atividade das enzimas superóxido dismutase/SOD, catalase/CAT, glutathione peroxidase/GPx, glutathione-S-transferase/GST, concentração de glutathione reduzida/GSH, lipoperoxidação lipídica/LPO) (n=12, 4 peixes/caixa). A exposição a temperaturas ($19,91\pm 0,30$ a $23,74\pm 0,25^{\circ}\text{C}$) e a dieta com farinha de microalga aumentaram as concentrações de glicose e número de eritrócitos. A farinha de microalga aumentou a disponibilidade do glicogênio. Temperaturas ($19,91\pm 0,30$ a $23,74\pm 0,25^{\circ}\text{C}$) aumentaram a ARL e a farinha de microalga diminuiu a ARL, AHC₅₀ e a concentração sérica de lisozima. A atividade das enzimas do sistema antioxidante SOD, CAT, GPx e GST e a concentração de GSH foram aumentadas em função da farinha de microalga. Nossos resultados demonstraram que a farinha de microalga influenciou no perfil metabólico, imunidade inata e sistema antioxidante de tambaquis expostos a temperaturas de $19,91\pm 0,30$ a $23,74\pm 0,25^{\circ}\text{C}$, reforçando um possível papel protetor dos ácidos graxos insaturados contidos na farinha de microalga.

PALAVRAS-CHAVE:

Resposta ao choque térmico, ácidos graxos, imunidade, estresse oxidativo, metabolismo, *Colossoma macropomum*

ABSTRACT

Tambaqui is the main native species produced in Brazil and Latin American aquaculture. This makes it necessary to study it at different temperatures, given the wide temperature range in the regions where it is produced. Additives rich in unsaturated fatty acids from microalgae (*Schizochytrium* sp.) for fish diets could be an alternative in order to improve the physiological capacity of these organisms to combat damage during exposure to temperatures lower than those of their thermal comfort. In this context, this thesis is divided into two chapters: 1- General Introduction, reviewing the main aspects covered in the study and Chapter 2 - In which an experiment was carried out with the aim of assessing the influence of unsaturated fatty acids from microalgae meal on the metabolic, immune and antioxidant system profile of tambaquis at temperatures of 19.91 ± 0.30 to $23.74\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ and $29.65\pm 0.47^{\circ}\text{C}$. Two groups were tested: control - fed commercial diets (6 tanks) (T1 and T2 - C) and the group fed microalgae meal (6 tanks) (T3 and T4 - FM). After 15 days of feeding, 3 tanks from each group were exposed to temperature (19.91 ± 0.30 to $23.74\pm 0.25^{\circ}\text{C}$) and the other 3 remained at room temperature ($29.65\pm 0.47^{\circ}\text{C}$). After 1, 3 and 6 hours exposed to reduced temperature (19.91 ± 0.30 to $23.74\pm 0.25^{\circ}\text{C}$) and ambient temperature of $29.65\pm 0.47^{\circ}\text{C}$, the fish were sampled to assess physiological indicators: metabolic (hepatic glucose, protein and glycogen, erythrocytes), immunological (respiratory activity of leukocytes/ARL, serum lysozyme concentration and serum activity of the complement system/AHC50) and antioxidant system (activity of the enzymes superoxide dismutase/SOD, catalase/CAT, glutathione peroxidase/GPx, glutathione-S-transferase/GST, reduced glutathione concentration/GSH, lipid peroxidation/LPO) (n=12, 4 fish/tanks). Exposure to temperatures (19.91 ± 0.30 to $23.74\pm 0.25^{\circ}\text{C}$) and the diet with microalgae flour increased glucose concentrations and erythrocyte numbers. Microalgae meal increased glycogen availability. Temperatures (19.91 ± 0.30 to $23.74\pm 0.25^{\circ}\text{C}$) increased ARL and microalgae meal decreased ARL, AHC50 and serum lysozyme concentration. The activity of the antioxidant system enzymes SOD, CAT, GPx and GST and the concentration of GSH were increased as a function of microalgae flour. Our results showed that microalgae meal influenced the metabolic profile, innate immunity and antioxidant system of tambaqui exposed to temperatures ranging from 19.91 ± 0.30 to $23.74\pm 0.25^{\circ}\text{C}$, reinforcing a possible protective role of the unsaturated fatty acids contained in microalgae meal.

KEYWORDS:

Heat-shock response, fatty acids, immunity, oxidative stress, metabolism,
Colossoma macropomum

CAPÍTULO 1

Introdução Geral

1. Aquicultura

A aquicultura é uma atividade agropecuária que tem como objetivo a produção de organismos aquáticos para a nutrição humana em condições controladas. Atualmente, 811 milhões de pessoas sofrem de fome e 3 bilhões não podem pagar por dietas saudáveis (FAO, 2022). Tal situação intensifica a urgência para transformar os atuais sistemas agroalimentares para serem mais seguros, acessíveis e sustentáveis (Fialho et al., 2021).

A aquicultura destaca-se como potencial atividade sustentável uma vez que permite o desenvolvimento de novas técnicas de produção para o setor, além de proporcionar o maior controle do ambiente aquático (Golovacheva et al., 2022), com benefícios ambientais relevantes, transformando estas características em ganhos de produtividade e qualidade no cultivo/criação de diferentes plantas e animais aquáticos (Siqueira, 2017).

O último recorde histórico referente à aquicultura ocorreu em 2020, resultando em 122,6 milhões de toneladas de pescado, equivalente a 281,5 bilhões de dólares. Neste mesmo ano, o consumo de alimentos aquáticos foi de 20,2 kg per capita, incremento que dobrou a taxa de consumo dos últimos 50 anos. A nível mundial, a Ásia aparece como principal continente produtor (70% do total), seguido das Américas, Europa, África e Oceania. A China, manteve-se como o principal país produtor (35 % do total) (FAO, 2022). O Brasil, neste cenário mundial, ocupa a 21ª posição, com maior expressividade para a piscicultura (FAO, 2022; IBGE, 2022). Segundo o perfil econômico da atividade aquícola brasileira de 2021, a produção de peixes foi de 558,9 mil toneladas, avaliada a 4,7 bilhões de reais (IBGE, 2022).

Entre as espécies mais produzidas em 2021, estão a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*), com 94,5 mil toneladas despescadas (IBGE, 2022). Apesar do tambaqui ser a espécie nativa mais produzida no Brasil e ter grande potencial interno de desenvolvimento e de exportação, países como a China tem se destacado na produção de espécies nativas brasileiras como tambaqui, pirapitinga e peixes ornamentais amazônicos. Em 2022, o país produziu 59,4 mil toneladas de pirapitinga superando a produção brasileira desta espécie (BBC, 2023).

Neste cenário, são necessários estudos para desenvolver tecnologias que explorem o potencial produtivo nacional de tabaqui visto que, apesar da espécie apresentar produção em todos os estados brasileiros, a maior produção ainda se encontra centralizada ao Norte do país nos estados Rondônia, Roraima, Amazonas e Tocantins e a um estado Nordeste, sendo o Maranhão (IBGE, 2022).

5. Conclusão

Os ácidos graxos insaturados provenientes da farinha de microalgas:

- 1) influenciaram o perfil metabólico de tambaquis, favorecendo a modulação e ajustes fisiológicos durante a exposição ao frio;
- 2) interferiram na resposta imunitária de tambaquis, sendo que a exposição a temperatura de $19,91 \pm 0,30$ a $23,74 \pm 0,25$ °C potencializou respostas inatas;
- 3) apresentaram efeito protetor na modulação do sistema antioxidante, quando os peixes foram expostos a temperatura de $19,91 \pm 0,30$ a $23,74 \pm 0,25$ °C, reduzindo o estresse oxidativo.

Este estudo também auxilia na compreensão de mecanismos que modulam sistemas fisiológicos do tambaqui em desafio térmico, colaborando para criação desta espécie na aquicultura.

6. Referências

ALMEIDA, J. R.; GRAVATO, C.; GUILHERMINO, L. Effects of temperature in juvenile seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) biomarker responses and behaviour: implications for environmental monitoring. **Estuaries and Coasts**, v. 38, p. 45-55, 2015.

ALMROTH, B. C. *et al.* Oxidative stress and biomarker responses in the Atlantic halibut after long term exposure to elevated CO₂ and a range of temperatures. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 238, p. 110321, 2019.

ARAUJO-DAIRIKI, T. B.; CHAVES, F. C. M.; DAIRIKI, J. K. Seeds of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, *Euphorbiaceae*) as a feed ingrediente for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, and matrinxã, *Brycon amazonicus* (Characidae). **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, p. 32-37, 2018.

ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. So fruitful a fish: Ecology, conservation, and aquaculture of the Amazon's tambaqui. **Columbia University Press**, 1997.

ARENDS, R. J. *et al.* Differential expression of two pro-opiomelanocortin mRNAs during temperature stress in common carp (*Cyprinus carpio*). **Journal of Endocrinology**, v. 159, p.85-91, 1998.

ARIDE, P. H. R.; ROUBACH, R.; VAL, A. L. Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 6, p. 588-594, 2007.

BARTON, B.A.; MORGAN, J.D.; VIJAYAN, M.M. Physiological and condition-related indicators of environmental stress in fish. **American Fisheries Society**, 1193 Bethesda, p.111-148. 2002.

BEITINGER, T. L.; BENNETT, W. A.; MCCAULEY, R. W. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. **Environmental biology of fishes**, v. 58, n. 3, p. 237-275, 2000.

CAMPOS, D. F. *et al.* Predicting thermal sensitivity of three Amazon fishes exposed to climate change scenarios. **Ecological Indicators**, v. 101, p. 533-540, 2019.

CECH, J. J.; BRAUNER, C. J. Techniques in whole animal respiratory physiology. **Encyclopedia of fish physiology: From genome to environment**, v. 2, p. 846-853, 2011.

CHENG, C. H. *et al.* Immune and physiological responses of pufferfish (*Takifugu obscurus*) under cold stress. **Fish & shellfish immunology**, v. 64, p. 137-145, 2017.

COGLIATI, K. M. *et al.* Reduced stress response in juvenile Chinook Salmon reared with structure. **Aquaculture**, v. 504, p. 96-101, 2019.

CORTEGANO, C. A. A. *et al.* Finishing plant diet supplemented with microalgae meal increases the docosahexaenoic acid content in *Colossoma macropomum* flesh. **Aquaculture Research**, v. 50, n. 4, p. 1291-1299, 2019.

CROCKETT, E. L. The cold but not hard fats in ectotherms: consequences of lipid restructuring on susceptibility of biological membranes to peroxidation, a review. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 178, n. 7, p. 795-809, 2008.

FARIA, C. F. P.; PIEDADE, A. E.; URBINATI, E. C. Effect of low water temperature on the stress, innate immune, and antioxidant responses of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, a sub-tropical fish. **Aquaculture International**, p. 1-14, 2023.

FARIA, C. F. P. *et al.* Modulation of the innate immune response, antioxidant system and oxidative stress during acute and chronic stress in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Fish physiology and biochemistry**, v. 47, p. 895-905, 2021.

FERREIRA, M. W. *et al.* Mortality in Pacus (*Piaractus mesopotamicus*) caused by *Pantoea agglomerans* and *Pseudomonas aeruginosa* in Excavated Tank. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 47, 2019.

GAMBOA-DELGADO, J.; MÁRQUEZ-REYES, J. M. Potential of microbial derived nutrients for aquaculture development. **Reviews in Aquaculture**, v. 10, n. 1, p. 224-246, 2018.

GAMPERL, A. K. *et al.* The impacts of increasing temperature and moderate hypoxia on the production characteristics, cardiac morphology and haematology of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v. 519, p. 734874, 2020.

GOMES, L. C.; SIMÕES, L.N.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M. *Tambaqui (Colossoma macropomum)* In: BALDISSEROTTO, B. (3^aed.) Espécies nativas para piscicultura no Brasil. 3^a ed. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência – **Editora UFMS**, 2020, p.147-152.

GOMES, L.C. *et al.* Effect of fish density during transportation on stress and mortality of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. **Journal of the World Aquaculture society**, v. 34, n. 1, p. 76-84, 2003.

GONÇALVES, L. U.; CYRINO, J. E. P. Digestibility of energy, lipids and fatty acids of vegetable oils and poultry fat by pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887). **Aquaculture Nutrition**, v. 20, n. 6, p. 567-573, 2014.

HALLIWELL, B. Biochemistry of oxidative stress. **Biochemical society transactions**, v. 35, n. 5, p. 1147-1150, 2007.

ISLAM, M. J. *et al.* Metabolic and molecular stress responses of European seabass, *Dicentrarchus labrax* at low and high temperature extremes. **Ecological Indicators**, v. 112, p. 106118, 2020.

ISLAM, M. J.; KUNZMANN, A.; SLATER, M. J. Extreme winter cold-induced osmoregulatory, metabolic, and physiological responses in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) acclimatized at different salinities. **Science of The Total Environment**, v. 771, p. 145202, 2021.

ISLAM, M. J.; KUNZMANN, A.; SLATER, M. J. Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 53, n. 2, p. 314-366, 2022.

KHIEOKHAJONKHET, A. *et al.* Effects of long-term exposure to high temperature on growth performance, chemical composition, hematological and histological changes, and physiological responses in hybrid catfish [σ *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) \times ♀ *C. macrocephalus* (Günther, 1864)]. **Journal of Thermal Biology**, v. 105, p. 103226, 2022.

KIM, J. H.; KIM, S.-K.; HUR, Y. B. Temperature-mediated changes in stress responses, acetylcholinesterase, and immune responses of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* in a bio-floc environment. **Aquaculture**, v. 506, p. 453-458, 2019.

LE MORVAN-ROCHER, C.; TROUTAUD, D.; DESCHAUX, P. Effects of temperature on carp leukocyte mitogen-induced proliferation and non-specific cytotoxic activity. **Developmental and Comparative Immunology**, v.19, p. 87-95, 1995.

MADEIRA, D; VINAGRE, C.; DINIZ, M. S. Are fish in hot water? Effects of warming on oxidative stress metabolism in the commercial species *Sparus aurata*. **Ecological Indicators**, v. 63, p. 324-331, 2016.

MODESTO, K. A.; MARTINEZ, C. B. R. Roundup® causes oxidative stress in liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish *Prochilodus lineatus*. **Chemosphere**, v. 78, n. 3, p. 294-299, 2010.

MOURENTE, G. *et al.* Effect of partial substitution of dietary fish oil by vegetable oils on desaturation and β -oxidation of [1-14C] 18: 3n- 3 (LNA) and [1-14C] 20: 5n- 3 (EPA) in hepatocytes and enterocytes of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture**, v. 248, n. 1-4, p. 173-186, 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL *et al.* Nutrient requirements of fish and shrimp. **National academies press**, 2011.

NIKOSKELAINEN, S.; BYLUND, G.; LILIUS, E. M. Effect of environmental temperature on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) innate immunity. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 28, n. 6, p. 581-592, 2004.

NIMSE, S. B.; PAL, D. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. **RSC advances**, v. 5, n. 35, p. 27986-28006, 2015.

OLIVEIRA, A.; CYRINO, J. E. P. Estresse dos peixes em piscicultura intensiva. 1998.

PANASE, P.; SAENPHET, S.; SAENPHET, K. Biochemical and physiological responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* Lin subjected to cold shock of water temperature. **Aquaculture Reports**, v. 11, p. 17-23, 2018.

PELLEY, J. W. 10-Fatty Acid and Triglyceride Metabolism. **Elsevier's integrated review biochemistry**. 2 ed. Philadelphia: WB Saunders, p. 81-88, 2012.

PÉREZ-CASANOVA, J. C. *et al.* The immune and stress responses of Atlantic cod to long-term increases in water temperature. **Fish & shellfish immunology**, v. 24, n. 5, p. 600-609, 2008.

PHUC, N. T. H.; MATHER, P. B.; HURWOOD, D. A. Effects of sublethal salinity and temperature levels and their interaction on growth performance and hematological and hormonal levels in tra catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). **Aquaculture International**, v. 25, p. 1057-1071, 2017.

RANZANI-PAIVA, M. J. T. Hematologia como ferramenta para a avaliação da saúde de peixes. **Simpósio de Nutrição e Saúde de Peixes**, v. 2, n. 2007, p. 47-51, 2007.

RANZANI-PAIVA, M. J. T. *et al.* Análises hematológicas de curimatá (*Prochilodus scrofa*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do Instituto de Pesca, Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 25, n. único, p. 77-83, 1999.

SARÀ, G. *et al.* Predicting shifting sustainability trade-offs in marine finfish aquaculture under climate change. **Global change biology**, v. 24, n. 8, p. 3654-3665, 2018.

SECOMBES, C.J. The nonspecific immune system: cellular defences. In: Iwama G, Nakanishi T (eds) The fish immune system: organism, pathogen and environment. **Academic Press**, San Diego, pp 63–103, 1996.

TANCK, M. W. T. *et al.* Cold shocks: a stressor for common carp. **Journal of Fish Biology**, v. 57, p. 881-894, 2000.

TORT, L. Stress and immune modulation in fish. **Developmental and Comparative Immunology**, v.35, p.1366–1375, 2011.

TROMP, J. J., JONES, P. L., BROWN, M. S., DONALD, J. A., BIRO, P. A., & AFONSO, L. O. Chronic exposure to increased water temperature reveals few impacts on stress physiology and growth responses in juvenile *Atlantic salmon*. **Aquaculture**, v. 495, p. 196-204, 2018.

URBINATI, E.C.; ZANUZZO, F.S.; BILLER, J.D. Stress and immune system in fish, In: *Biology and Physiology of Freshwater Neotropical Fish*. In: BALDISSEROTTO, B., URBINATI, E.C., CYRINO, J.E.P. (Eds). **Elsevier**, Academic, 2020, p. 93-114.

VISENTAINER, J. V. *et al.* Concentração de ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) em peixes marinhos da costa brasileira. **Food Science and Technology**, v. 20, p. 90-93, 2000.

WANG, Z. *et al.* Effects of dietary iron levels on growth performance, iron metabolism and antioxidant status in spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) reared at two temperatures. **Aquaculture**, v. 562, p. 738717, 2023.

WANG, Q. *et al.* Docosahexaenoic acid production by *Schizochytrium* sp.: review and prospect. **Food Biotechnology**, v. 35, n. 2, p. 111-135, 2021.

WENDERLAAR BONGA, S.E. The stress response in fish. **Physiological Reviews**, v.77, p. 59-625, 1997.

YAQOOB, P.; CALDER, P. C. Fatty acids and immune function: new insights into mechanisms. **British Journal of Nutrition**, v. 98, n. S1, p. S41-S45, 2007.

ZANIBONI FILHO, E.; MEURER, S. Limitações e potencialidades do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum Cuvier, 1818*) na região subtropical do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 24, p. 169-172, 1997.

ZHANG, J. *et al.* Effects of chronic exposure of 2, 4-dichlorophenol on the antioxidant system in liver of freshwater fish *Carassius auratus*. **Chemosphere**, v. 55, n. 2, p. 167-174, 2004.